

## Ultrasonic flow velocity measuring instrument for liquids and gases

**Publication number:** DE4416826

**Publication date:** 1995-11-23

**Inventor:** SCHULZE STEFFEN DIPL ING (DE); FAHRENWALD RENE (DE); ZACHEJA JOHANNES DR RER NAT (DE)

**Applicant:** SCHULZE STEFFEN DIPL ING (DE); FAHRENWALD RENE (DE); ZACHEJA JOHANNES DR RER NAT (DE)

**Classification:**

**- international:** **G01F1/66; G01P5/24; G01F1/66; G01P5/00; (IPC1-7):**  
G01P5/00; G01F1/66

**- european:** G01F1/66B; G01F1/66D; G01P5/24; G01P5/24T

**Application number:** DE19944416826 19940516

**Priority number(s):** DE19944416826 19940516

[Report a data error here](#)

### Abstract of **DE4416826**

An ultrasonic flow velocity measuring instrument for liquids and gases employs microstructured emitters producing a focused ultrasonic beam and microstructured receiver arrays. At least one emitter mounted on a silicon or ceramic substrate (1) sends a focused beam at right angles into the flow. Pref. the beam is reflected by a special reflection in the flow. Pref. a receiver array is positioned on each side of the emitter. These arrays have high lateral resolution and determine the point of impingement of the reflected beam which drifts with the flow. The flow velocity is calculated from the drift.

---

Data supplied from the **esp@cenet** database - Worldwide



①⑨ BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**  
⑩ **DE 44 16 826 A 1**

⑤① Int. Cl.<sup>6</sup>:  
**G 01 P 5/00**  
G 01 F 1/66

②① Aktenzeichen: P 44 16 826.8  
②② Anmeldetag: 16. 5. 94  
②③ Offenlegungstag: 23. 11. 95

DE 44 16 826 A 1

⑦① Anmelder:

Schulze, Steffen, Dipl.-Ing., 28865 Lilienthal, DE;  
Fahrenwald, René, 28215 Bremen, DE; Zacheja,  
Johannes, Dr.rer.nat, 27412 Bülstedt, DE

⑦② Erfinder:

gleich Anmelder

⑤④ Neuartiges Ultraschallsystem zur Bestimmung der Strömungsgeschwindigkeit in Gasen und Flüssigkeiten

⑤⑦ Die Erfindung beschreibt einen Apparat und ein Verfahren zur Bestimmung der Strömungsgeschwindigkeit von Flüssigkeiten und Gasen in durchströmten Rohren verschiedener Querschnitte. Das Verfahren beruht auf dem Effekt der Verschleppung eines in das strömende Medium gesandten Ultraschallsignals. Erfindungsgemäß wird das Ultraschallsignal durch einen mikrostrukturierten Ultraschallsender erzeugt. Durch Auswahl einer geeigneten Frequenz und bestimmter Sendermaße wird ein schmaler Ultraschallstrahl mit geringem Öffnungswinkel abgestrahlt. Ein Multiwandlerelement, erfindungsgemäß bestehend aus mikrostrukturierten piezoelektrischen Dickenschwingern, ist definiert neben dem Sendeelement angeordnet. Dieses Element empfängt den an der gegenüberliegenden Rohrwand oder einem speziell eingebrachten Reflektor reflektierten Strahl und bestimmt den Auftreffpunkt des Ultraschallimpulses bezüglich des Senders. Die hohe örtliche Auflösung des mikrostrukturierten Empfängers ermöglicht eine sehr genaue Bestimmung dieses Punktes. Der Abstand Ultraschallsender-Auftreffpunkt des reflektierten Signals ist proportional zur Strömungsgeschwindigkeit.

DE 44 16 826 A 1

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

BUNDESDRUCKEREI 09. 95 508 047/46

4/28

Ultraschallmeßverfahren finden bei der Bestimmung der Strömungsgeschwindigkeit von flüssigen und gasförmigen Medien breite Anwendung.

Ausgenutzt wird dabei entweder der Dopplereffekt-Frequenzverschiebung bei Reflexion des Ultraschalles an bewegten Teilchen-, oder die Differenz in der Ausbreitungsgeschwindigkeit mit und gegen die Strömung.

Neben der direkten Laufzeitmessung über eine definierte Meßstrecke wird die Zeitdifferenz in Phasen- oder Frequenzsignale umgewandelt (Phasendifferenzmessung, Lambda-locked-loop-Verfahren). Dabei werden stets getrennte Sender- und Empfänger-elemente benötigt.

Die vorliegende Erfindung beschreibt ein neues Meßverfahren, das auf dem Effekt der Verschleppung des Ultraschalles durch die Strömung basiert. Ein Ultraschallsignal, das senkrecht in ein strömendes Medium gesandt wird, trifft nach Reflexion an der gegenüberliegenden Rohrwand versetzt zum Sender auf. Der Versatz ist proportional zur Strömungsgeschwindigkeit. Die Größe des Versatzes ist abhängig vom Durchmesser des durchströmten Rohres, der Ausbreitungsgeschwindigkeit des Schalles im Strömungsmedium und der Strömungsgeschwindigkeit des Mediums. Für eine konkrete Anordnung sind die Meßstrecke (Rohrdurchmesser) und das strömende Medium bekannt, so daß aus dem Versatz die Strömungsgeschwindigkeit ermittelt werden kann.

$$V_{\text{Strömung}} = \frac{1}{3 \cdot D_{\text{Rohr}}} \cdot \frac{V_{\text{Versatz}} \cdot c_{\text{Schall}}}{1}$$

Die genaue Bestimmung des Versatzes erfordert eine hohe örtliche Auflösung des Empfängers und einen fokussierten Ultraschallstrahl. Herkömmliche Sender und Empfänger können diese Forderungen nicht erfüllen.

Erfindungsgemäß werden die nötigen Eigenschaften von Sender und Empfänger durch mikrostrukturierte Wandlerelemente realisiert. Das Senderelement ist ein piezoelektrischer Dickenschwinger-Größe, Form und Sendefrequenz werden unter Berücksichtigung folgender Randbedingungen ausgewählt

- der reflektierte Strahl soll nicht auf dem Sender auftreffen, darum muß der Sender in einer Koordinatenrichtung möglichst geringe laterale Abmessungen haben.
- entsprechend der Rohrdicke und dem Strömungsmedium muß eine Leistung abgestrahlt werden, die unter Berücksichtigung der Dämpfung ein auswertbares Signal am Empfänger erzeugt.
- eine hohe örtliche Auflösung am Empfänger erfordert geringe Abmessungen des Strahles und eine Fokussierung auf den Empfänger.

Der Sender wird so in die Rohrwand eingebracht, daß er mit der ausgewählten Frequenz angeregt, einen Ultraschallstrahl senkrecht zur Strömungsrichtung des Mediums abstrahlt. Durch Dimensionierung des Senders bei der gewählten Frequenz wird der erforderliche kleine Öffnungswinkel erreicht.

Bedingt durch die geringen Abmaße des mikrostrukturierten Senders trifft der mit der Strömung verschleppte Strahl nach Reflexion an der Gegenseite ne-

ben dem Sender auf. Sind auf Grund der zu erwartenden Strömungsverhältnisse sehr große Strahldriften abzusehen, kann die Laufstrecke des Strahls im Strom und damit die Drift durch ein zusätzlich eingebrachtes Reflektorelement verkürzt werden.

Erfindungsgemäß wird im zu erwartenden Auftreffbereich ein mikrostrukturiertes Multiwandlerelement bestehend aus piezoelektrischen Dickenschwingern platziert. Dieses Multiwandlerelement stellt ein eindimensionales Array von Streifen aus piezoelektrischem Material dar. An der Auftreffstelle des Strahles regt dieser einzelne Streifen des Empfängerarrays an. Da der Ultraschallstrahl trotz Bündelung eine endliche Breite hat, werden gegebenenfalls mehrere Streifen angeregt. Durch Intensitätsschwellen für die Signale der einzelnen Schwingerelemente wird das Intensitätsmaximum ermittelt und die genaue Strahldrift bezüglich des Senders bestimmt.

Die Genauigkeit der Ermittlung der Strahldrift wird bestimmt durch den Abstand von jeweils zwei piezoelektrischen Streifenempfängern.

Lithographische Verfahren, die in der Mikrotechnik Anwendung finden, ermöglichen Abstände zwischen zwei Schwingern von einigen Mikrometern.

Vorteil des neuen Meßprinzipes ist, daß Sender und Empfänger erfindungsgemäß auf einem Substrat mittels Mikrostrukturtechnik kostengünstig herzustellen sind. Auf einem Silizium- oder keramischen Substrat wird eine piezoelektrische Schicht über einer Elektroden-schicht abgeschieden. Aus dieser Schicht werden mit einem fotolithographischen Schritt mit anschließendem Ätzprozeß der Sender und das Empfängerarray strukturiert. Eine zweite Elektroden-schicht ermöglicht die Anregung des Dickenschwingers. Isolations- und Anpassungsschichten schließen den vertikalen Aufbau ab. Anpassungsschichten sollen die Einkopplung des Schalls in das Strömungsmedium mit möglichst geringen Verlusten ermöglichen. Impedanzanpassung. Die rückseitige Anpassung zum Substrat muß die umgekehrte Aufgabe erfüllen, da eine Übertragung der Schallschwingung in das Substrat unerwünscht ist. Schallfortpflanzung im Substrat führt zur Anregung der Empfänger und verschlechtert das Signal/Rauschverhältnis.

Ein besonderer Vorteil des neuen Meßprinzipes ist es, daß durch das feste Raster des Empfängerarrays ein wertdiskretes Meßsignal entsteht. Mit Hilfe einer getakteten Abfrage kann dieses Signal in einen digitalen Ausgang umgewandelt werden. Komplizierte Messungen extrem kurzer Zeiten bzw. geringer Phasen- und Frequenzänderungen sind nicht erforderlich.

Eine Anordnung von zwei Empfängerarrays rechts und links des Senders ermöglicht die Messung von Strömungen in beide Richtungen.

In Ausgestaltung der Erfindung lassen sich mehrere Empfängerarrays um den Sender anordnen, bzw. mehrere Sender um einen Empfänger.

Die lokale Auflösung läßt sich erhöhen, wenn mehrere Empfängerarrays parallel, aber versetzt angeordnet werden. Dabei kann der gleiche Sender benutzt werden. In diesem Fall ist die Aufbereitung der Signale umfangreicher.

Durch eine Anordnung von 4 Empfängern um den Sender jeweils um 90 Grad versetzt, können Strömungen unter beliebigem Winkel detektiert werden.

Eine analoge Auswertung der Signale an den einzelnen Empfänger-elementen ermöglicht es, eine durch die Strahlverwehung beeinflusste Intensitätsverteilung des Ultraschalles am Empfängerarray aufzunehmen. Hin-

terlegt man eine Eichkurve von Zuständen, läßt sich durch elektronischen Vergleich des aktuellen Intensitätsverteilungszustandes mit den Eichzuständen eine Strömungsgeschwindigkeit zuordnen. Um die Strömungsrichtung zu bestimmen, kann auch eine Anordnung von mehreren Sendern um einen Empfänger gewählt werden.

Die folgende Zeichnung soll eine Variante der möglichen Anordnungen von Sender und Empfänger dieser Erfindung näher erläutern:

Der Aufbau des Strömungsmeßelementes erfolgt auf einem Silizium- oder Keramiksubstrat (1). Piezoelektrische Dickenschwinger, eingebettet in zwei Metallschichten, bilden den Sender (2). Im gleichen technologischen Zyklus werden die Empfängerarrays (Multiwandlerelemente) (3, 4) rechts und links neben dem Sender (2) angeordnet. Mittels hybrider oder monolithischer Integration wird auf dem Substrat (1) eine Schaltung (5) zur Anregung des Senders (2) sowie der Aufbereitung der empfangenen Meßsignale realisiert. Das zu bewertende Medium (6) strömt zwischen Substrat (1) und dem Reflektor (7) hindurch. Der Reflektor (7) kann vorzugsweise durch die Rohrwand gebildet werden. Zur Eliminierung von Druck- und Temperaturabhängigkeit von Schallgeschwindigkeit und Dichte des strömenden Mediums wird auf das Substrat (1) zusätzlich ein Druck- und Temperatursensor integriert. Der Sender (2) erzeugt einen senkrecht in das Medium gerichteten gebündelten Ultraschallstrahl (9). Dieser wird vom Reflektor (7) (Rohrwand) in Richtung Substrat (1) reflektiert (10). Bedingt durch die Strömung (6) driftet der Strahl in Richtung Empfängerarray (4) ab und regt einzelne Elemente an. Durch Aufbereitung des Signales in einer speziellen elektronischen Schaltung (5) wird der Auftreffpunkt des reflektierten Strahles (10) bestimmt und aus der Drift die Strömungsgeschwindigkeit ermittelt. Die Kenntnis der Dichte des Mediums ermöglicht die Bestimmung des Massestromes. — Eine Korrektur der verwendeten physikalischen Größen bei Druck- und Temperaturschwankungen erfolgt auf der Basis einer Druck- Temperaturmessung mittels Meßwertempfänger (8).

4. Vorrichtung gemäß Anspruch 1—3 dadurch gekennzeichnet, daß neben der Strömungsgeschwindigkeit auch die Strömungsrichtung ermittelt werden kann.

5. Vorrichtung gemäß Anspruch 1—4 dadurch gekennzeichnet, daß das Empfängerarray ein wertdiskretes Signal liefert welches durch getaktete Abfrage in ein digitales Ausgangssignal proportional zur Strömungsgeschwindigkeit umgewandelt werden kann.

6. dadurch gekennzeichnet, daß alle Module: Sender und Empfängerarrays, Steuer- und Auswertelektronik, Druck- und Temperatursensor hybrid oder monolithisch auf einem Substrat integriert werden können.

7. dadurch gekennzeichnet, daß eine analoge Aufzeichnung der Empfängersignale eine strömungsabhängige Intensitätsverteilung liefert, die bei Vergleich mit Eichzuständen eine Bestimmung der Strömungsgeschwindigkeit ermöglicht.

8. Vorrichtung nach Anspruch 1 und 2, dadurch gekennzeichnet, daß sich zwischen zwei mikrostrukturierten Ultraschallsendern ein Empfängerarray befindet, das durch Signalauswertung nach Anspruch 5 oder nach Anspruch 7 die Bestimmung der Strömungsrichtung und -geschwindigkeit ermöglicht.

Hierzu 1 Seite(n) Zeichnungen

#### Patentansprüche

1. Verfahren- und Vorrichtung zur Bestimmung der Strömungsgeschwindigkeit von flüssigen und gasförmigen Medien, wobei mikrostrukturierte Sender, die einen gebündelten Ultraschallstrahl erzeugen, und mikrostrukturierte Empfängerarrays verwendet werden, dadurch gekennzeichnet, daß mindestens ein mikrostrukturierter Ultraschallsender (2) aufgebracht auf ein Silizium- oder Keramiksubstrat (1) angeregt wird und einen gebündelten Ultraschallstrahl (9) senkrecht in das strömende Medium sendet.

2. Vorrichtung gemäß Anspruch 1 dadurch gekennzeichnet, daß der Ultraschallstrahl an einem speziellen Reflektorelement, welches in die Strömung eingebracht wird, reflektiert wird.

3. Vorrichtung gemäß Anspruch 1—2 dadurch gekennzeichnet, daß rechts und links neben dem Sender (2) je ein mikrostrukturiertes Empfängerarray angeordnet ist, das mit hoher lateraler Auflösung den Auftreffpunkt des reflektierten, mit der Strömung abgedrifteten Strahles bestimmen und eine Berechnung der Strömungsgeschwindigkeit aus der Drift ermöglichen.

